

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

SS
b
3-5-02

11017 U.S. PRO
10/01773
12/18/01

First Named
Inventor : Baowei KANG
Appln. No. :
Filed : Herewith
Title : POWER SEMICONDUCTOR SWITCHING
DEVICES WITH LOW POWER LOSS AND
METHOD FOR FABRICATING THE SAME
Docket No. : B784.312-1

Group Art Unit:
Examiner:

**CLAIM OF PRIORITY AND TRANSMITTAL OF
CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

SENT VIA EXPRESS MAIL

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Express Mail No.: EL800729224US

Sir:

Applicant claims right of priority under the provisions of 35 U.S.C. 119(a)-(d) or 365(b) based on China Patent Application No. 00135808.1, filed December 21, 2000.

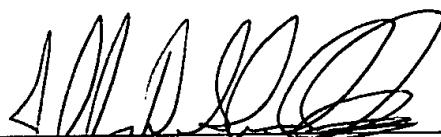
A certified copy of this application is enclosed. This priority application is identified in the Declaration filed December 21, 2001.

Applicant requests that priority be granted on the basis of this application.

Respectfully submitted,

KINNEY & LANGE, P.A.

By:


Jeffrey D. Shewchuk, Reg. No. 37,235
THE KINNEY & LANGE BUILDING
312 South Third Street
Minneapolis, MN 55415-1002
Telephone: (612) 339-1863
Fax: (612) 339-6580

JDS:beh

证 明

J1017 U.S. PRO
10/017734
12/18/01

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请副本

申 请 日： 2000 12 21

申 请 号： 00 1 35808. 1

申 请 类 别： 发明专利

发明创造名称： 低功耗半导体功率开关器件及其制造方法

申 请 人： 北京工业大学

发明人或设计人： 亢宝位

中华人民共和国
国家知识产权局局长

王景川

2001 年 11 月 1 日

权 利 要 求 书

- 1、一种低功耗半导体功率开关器件，由 N 型基区、背 p⁺发射区和通用的包含阴极、栅极等在内的正面结构区组成，其特征在于离子注入形成的超薄、低杂质浓度的背 p⁺发射区与包含单侧残留 N 型扩散层的杂质非均匀分布的 N 型基区的结合。
- 2、根据权利要求 1 所述的一种低功耗半导体功率开关器件，其特征在于，背 p⁺发射区的厚度在 0.2~1 μm 之间。
- 3、根据权利要求 1 所述的一种低功耗半导体功率开关器件，其特征在于，背 p⁺发射区的离子注入剂量在 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 至 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 之间。
- 4、根据权利要求 1 所述的一种低功耗半导体功率开关器件，其特征在于，N 型基区中所包含的残留 N 型扩散层的宽度为 5~50 μm 之间。
- 5、根据权利要求 1 所述的一种低功耗半导体功率开关器件，其特征在于，N 型基区中残留扩散层中与 p⁺区交界处的浓度在 1×10^{14} 至 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的范围内。
- 6、一种低功耗半导体功率开关器件的制造方法，其特征在于制造方法依下列步骤进行：第一步：制造带有残留扩散层的非均匀杂质浓度分布的 N 型衬底，其中在本工序中非均匀掺杂 N 型基区中靠近 p⁺区一边的残留扩散层是在本工序晶片减薄之前的制造过程的本工序的第一步完成的；第二步：在衬底片的低杂质浓度的一侧用离子注入、高温扩散等通用方法制造 IGBT（晶闸管、MCT）的通用的正面结构；第三步，用通用的研磨、抛光等方法从衬底高浓度一侧减薄衬底使残留的扩散层减少到所需厚度；第四步，在衬底的残留扩散层的表面区用离子注入法形成所需厚度的 p⁺ 背发射区；第五步，在背 p⁺ 区表面沉积背面金属化系统，并进行合金，衬底减薄之后，即在第三步完成后，从第四步开始只有低温加工过程。
- 7、根据权利要求 6 所述的一种低功耗半导体功率开关器件的制造方法，其特征在于，衬底减薄后低温加工的条件是温度低于 600℃。

说 明 书

低功耗半导体功率开关器件及其制造方法

本发明涉及一种半导体功率开关器件，以及这种器件的制造方法。这种器件的耐压范围是在 2KV 以下的中低压范围。

电力电子技术中使用功率开关器件。本发明所说的半导体功率开关器件是指绝缘栅双极晶体管 (IGBT)、MOS 控制晶闸管 (MCT) 和半导体晶闸管。对功率开关器件的主要性能要求是功率损耗小，这就是要求通态压降小以降低通态损耗；开关时间短以降低开关损耗。

下面以 IGBT 为例来进行说明。IGBT 有穿通型 IGBT (PT-IGBT) 和非穿通型 IGBT (NPT-IGBT)。早期制造的 IGBT 都是穿通型的 (参见 1982 IEDM Tech. Dig., pp. 264-247, IEEE Transaction on Power Electronics, vol. PE-2, No. 3, PP. 194~207)。它是在均匀掺杂的厚数百 μm 的 p^+ 衬底上外延 n^+ 缓冲层和 n^- 基区，再于 n^- 层表面区制作所需的复杂的正面结构而成。耐高压的 IGBT 需要 n^- 区很厚。1000 V 耐压的器件需约 100 多 μm 。厚层外延的技术难度大，制造成本高。于是，八十年代末出现了 NPT-IGBT (参见 1989 PESC Record 1, PP. 21-25; 1996 ISPSD, PP. 331-334 和 PP. 164-172)，它是在均匀掺杂的厚数百 μm 的 n^- 单晶衬底上先制造复杂的正面结构，然后再从衬底片背面用研磨、腐蚀法减薄到耐压所需的 n^- 区厚度后，再用离子注入来形成 p^+ 背发射区。它不需要厚层外延，适合于制造高压 IGBT。但是，从降低功率损耗方面看，PT 型和 NPT 型 IGBT 都有重大不足。PT-IGBT 具有较小的通态压降，但开关时间相当长；恰恰相反，NPT-IGBT 具有较短的开关时间，但通态压降相当大。长期以来，技术界追求的一个目标是发明一种技术可制造出通态压降如 PT-IGBT 那样小，同时开关时间又如 NPT-IGBT 那样小的 IGBT。PT-IGBT 的通态压降小是由于 10~20 μm 外延 n' 缓冲层的存在使得制造同样耐压的器件可选用较薄的 n^- 基区，而 NPT 采用的是均匀掺杂的 n^- 单晶衬底作基片，难以制造出 n' 缓冲层；NPT-IGBT 的开关时间短是由于离子注入形成的背 p^+ 发射区厚度很薄而且掺杂浓度低使背发射结注入效率低，电子流成分大，电子可从背 p^+ 区流出，而 PT-IGBT 却是以均匀重掺杂的厚 p^+ 发射区为衬底，注入效率高，电子流很小。对于 PT-IGBT 采用厚而重掺杂背发射区是不能避免的，因为 p^+ 背发射区是制造时的衬底，若厚度薄则易碎片；同时背发射区是集电极电流通过的路径，掺杂浓度低会使电阻太大。为了得到通态压降小而又开关时间短的 IGBT，一种有效的途径是在 IGBT 结构中同时采用 n' 缓冲层和薄而低掺杂的背 p^+ 发射区。1995 年出现了一种这种结构的 IGBT (见 U.S. Patent No. 5668385)。它在均匀掺杂 n^- 衬底片的一面制造所需复杂的正面结构，另一面用高温扩散法依次制造

30 μm 以上的 n⁺ 缓冲层和深 1.2 μm 以上的背 p⁺ 发射区。然而，正如发明人所称，这种结构只适用于高耐压 IGBT（例如 4.5KV）。这是因为衬底片两面的加工都有高温长时间处理过程，必须有足够厚的 n⁻ 衬底片才能不碎片（4.5KV 耐压时 n⁻ 区约 400 μm ）。而 2KV 以下的中低压 IGBT 的 n⁻ 区只有约 100~200 μm 左右，经不住多次高温处理。而从需要看，大量的 IGBT 都是耐压 2KV 以下的。因此，这一专利给出的结构并未真正解决长期追求解决的制造低损耗 IGBT 这一问题。2000 年终于出现了一种可以用于制造耐压 2KV 以下的同时具有 n⁺ 缓冲层和超薄低掺杂 p⁺ 背发射区的 IGBT 的制造技术（见 2000 年 ISPSD, PP. 355~358），所制造器件耐压 1300V, n⁻ 区厚 110 μm 。它是在厚的均匀掺杂 n⁻ 型衬底的一面先制造需用高温长时间加工的正面结构，然后从片子背面减薄至所需厚度后再制造 n⁺ 缓冲层和 p⁺ 背发射区，都是用离子注入法，不需要高温长时间热处理。由于减薄后的片子不再经长时间高温处理，100 μm 厚的片子也不至于碎片（碎片问题的解决见 1997 ISPSD, PP. 361~364）。但是，这种 IGBT 中的 n⁺ 缓冲层厚度太薄，不可能大于 1 μm 。这是因为在制作 n⁺ 缓冲层时 n⁻ 衬底另一面的 IGBT 正面结构已经制成，其源区结深是亚微米的，如果缓冲层退火温度高时间长会使 MOSFET 中各 pn 结结深改变而改变了 MOSFET 的特性；尤其是厚度为 100 μm 左右的硅片经高温长时间热退火很容易碎片。如此薄的 n⁺ 缓冲层作为耐高压器件 n⁻ 区强电场的终止层，用于实际制造是不可行的。因为高压时在缓冲层中不能留下足够厚的无电场区，其漏电流必然很大、击穿电压也是软特性。此外不可避免的背面加工损伤和难免的晶体缺陷就会造成终止层阻止强场能力的失效，导致器件性能变坏。作者自己在文中指出，其漏电流和击穿电压不易保证。所以，这种 IGBT 在实际上是不能作为产品付诸生产的。也就是说，直到目前为止，虽然经过技术界长期努力，但对于耐压 2KV 以内的占用途需求绝大部分的 IGBT，进一步降低功率损耗（即制造出的产品既具有小的通态压降又具有短的开关时间）的制造技术问题还未真正解决。对于晶闸管，MCT 也存在着完全相同的问题。

本发明的目的是为了提供一种低功耗的耐压 2KV 以内的 IGBT 及其制造方法，这种 IGBT 同时具有 PT-IGBT 通态压降小的特点和 NPT-IGBT 开关时间短的特点，其制造方法能得到合适厚度和浓度的电场终止层和背发射区，适于实际生产。本发明的技术同样适用于半导体晶闸管和 MCT。

本发明的低功耗半导体功率开关器件（包括低功耗 IGBT、MCT 和晶闸管）由 N 型基区、背 p⁺ 发射区和通用的包含阴极、栅极等在内的正面结构区组成，其特征在于离子注入形成的超薄、低杂质浓度的背 p⁺ 发射区与包含单侧残留 N 型扩散层的杂质非均匀分布的 N 型基区的结合。因此本发明是由一个包含 N 型杂质扩散残留层的杂质浓度从一面向

另一面逐渐降低的非均匀掺杂 N 型基区，一个在 N 型基区高掺杂一侧用离子注入形成的背面 p⁺ 发射区和一个位于 N 型基区低掺杂一侧表面区的包含阴极、栅极等的通用正面结构区等三个区域组成。

本发明的低功耗半导体功率开关器件中，其中背面 p⁺ 发射区的厚度在 0.2~1.0 μm 范围内，注入剂量在 1×10^{11} 至 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 范围内，例如根据所需通态压降不同可把厚度和剂量值分别取为 0.2、0.4、0.6、0.8 μm 等和 1×10^{11} 、 5×10^{11} 、 1×10^{12} 、 5×10^{12} 、 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 等值。前述的 N 型基区中的杂质分布为从 p⁺ 发射区界面处开始逐渐降低，到达残留扩散层边界后基本维持一个恒定值直至正面结构区，N 型基区中所包含的残留 N 型扩散层的宽度为 5~50 μm 之间，根据器件耐压高低不同而不同，例如可取 5、10、15、25、30、35 μm 等值。N 型基区中残留扩散层中与 p⁺ 区交界处的浓度在 1×10^{14} 至 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的范围。N 型基区的厚度根据耐压不同而不同，耐压 1000V 器件约为 100 μm，耐压 2000 V 器件约为 200 μm，其中正面结构区的具体结构是 IGBT、MCT 或晶闸管的通用的正面结构，包括平面型的和凹槽型的都适用，本发明对此无特殊要求。

本发明低功耗半导体功率开关器件的制造方法依下列步骤进行：第一步、制造带有残留扩散层的非均匀杂质浓度杂质分布的 N 型衬底，其中在本工序中非均匀掺杂 N 型基区中靠近 p⁺ 区一边的残留扩散层是在本工序晶片减薄之前的制造过程的本工序的第一步完成的。在均匀掺杂的 N 型半导体基片的双面同时扩散高浓度的 N 型杂质形成双面扩散层，从一面用研磨、抛光等通用方法去除一侧的扩散层并继续把基片减薄到耐压所需的厚度，这就制成了具有单侧扩散层的浓度从一侧表面起逐渐降低的非均匀掺杂 N 型衬底；第二步、在衬底片的低浓度杂质的一侧用离子注入、高温扩散等通用方法制造 IGBT（晶闸管、MCT）的通用的正面结构；第三步、用通用的研磨、抛光等方法从衬底高浓度一侧减薄衬底使残留的扩散层减少到所需厚度；第四步、在衬底的残留扩散层的表面区用离子注入法形成所需厚度的 p⁺ 背发射区，控制注入剂量使 IGBT 的开关时间尽可能减小而通态压降又不超过允许的值；第五步，在背 p⁺ 区表面沉积背面金属化系统，并进行合金。衬底减薄之后，即在第三步完成后，从第四步开始只有低温加工过程。衬底减薄后低温加工的条件是温度低于 600℃。

本发明的技术方案完成了其目的的要求，使本发明器件能同时具有通态压降小和开关时间短的特点。这是由于在器件处于导通状态时，因 N 型基区中的残留的预扩散层的杂质浓度高，在高压时起到低掺杂 N 型区中强电场的终止作用，可使同样耐压下低掺杂区厚度取得比无此终止层时更薄，所以通态压降比 NPT-IGBT 小，这一高浓度缓变的残留预扩散层的作用和 PT-IGBT 中均匀掺杂 n⁺ 缓冲层的作用相同，所以其通态压降应当与 PT-

IGBT 同样低。对耐压 2000 V 的器件终止层取为大约 25~50 μm 就够了，如果太厚会造成通态压降高，如果太薄会使电场终止作用不足，造成击穿电压降低，反向漏电大。另一方面，本发明的结构中包含浓度在 1 μm 以内的浅而低掺杂的背发射区，可使背发射结的电子流比 PT-IGBT 中大得多，因而在关断时存储在 N 型基区中的过剩电子很容易从背发射区流出，从而减短关断时间，这种背面发射区结构与 NPT-IGBT 中背发射区结构相同，其开关时间应当与 NPT-IGBT 同样短。

本发明除前述特点外，还可适于实际生产，这有赖于所采用的制造方法。理由为耐压 2000V 以内的具有 n^+ 电场终止层的 IGBT、MCT 和晶闸管的 N 型基区只有大约不足 200 μm ，高温长时间热处理将会碎片，所以背景文件 U.S. Patent NO. 566385 的双面高温扩散结构和制造方法不能使用于本发明器件的制造。本发明的器件可以用本发明的制造方法来实现。在本发明的制造方法中第一步制造出的衬底片厚度为 N 型基区与未减薄前原有 n^+ 扩散层之和，只要扩散层足够深，衬底片厚度就足够厚。长时间扩散可使扩散层达到 200 μm 以上，则相应的衬底片厚度可达到大约接近 300 μm 至 400 μm 以上。在这样厚的衬底片上进行第二步的制造 IGBT 的复杂的正面结构，虽然有多次高温长时间热处理过程也不会碎片。在经过第三步把基片的背面扩散层减薄到耐压所需厚度以后，虽然晶片只剩大约 100 μm ~ 200 μm 的厚度，但其后第三、第四步的离子注入（可以不退火）和制造背面金属化系统等均不需像扩散和驱入那样长时间高温过程，适当的加工方法是完全可以不碎片的（不碎片技术参见 1997 ISPSD PP. 361-364）。

下面将通过低功耗 IGBT 的具体实施例和附图对本发明加以说明：

图 1 表示本发明 IGBT 的基本结构

图 2 表示本发明 IGBT 的制造过程

图 1 表示的本发明 IGBT 的结构，从 A 至 E 为非均匀掺杂 N 型衬底，总厚度 300 μm 以上，其中从 A 至 D 为杂质浓度逐渐降低的扩散层，在制成器件过程中 A 至 B 的部分已经去掉。4 区为 N 型基区中恒定杂质浓度区，厚度由耐压决定，3 区为 N 型基区中由残留扩散层构成的杂质浓度高于 4 区的电场终止层，其厚度约为 5~50 μm ，2 区为由离子注入形成的背 p^+ 发射区，其厚度小于 1 μm ，注入剂量 1×10^{11} 至 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ，1 为背面阳极金属化系统层，5 至 11 为通用的 IGBT 正面结构，5 为 p^+ 集电区，6 为 p 饼，7 为棚氧层，8 为棚电极，9 为电极间绝缘层，10 为阴极电极，11 为 n^+ 源区。这里作为例子画出的是常见的平面型正面结构，其他类型的 IGBT 有不同的正面结构，如也可以是槽栅结构。在图 1 的结构中，4 区是耐压层，在高压下其中存在着强电场，3 区的作用是利用其高杂质浓度将强电场迅速减小而终止，并留下一定厚度的基本上无场区以减小漏电流和保证击

穿电压的硬特性。但 3 区过厚会增长开关时间和增加通态压降。由于 3 区的作用可使 IGBT 中电场强度分布由 NPT 型中的三角形分布改变为近梯形分布，因而可用比 NPT-IGBT 更薄的 4 区达到同样的耐压，4 区厚度的减小可以减小通态压降，达到与 PT-IGBT 基本相同的低通态压降。离子注入形成的背 p^+ 发射区 2 具有比 PT-IGBT p^+ 背发射区更薄的厚度和更低的掺杂浓度，所以通过 2 区流出的电子流比较大，可使导通时存储在 4、3 区中的大量电子迅速流出（空穴从 5 区流出），因而开关时间比 PT-IGBT 短，因本结构与 NPT-IGBT 的背发射区结构相同，而且具有更薄的 4 区，其中存储的电荷总量更少，开关时间可以达到与 NPT-IGBT 同样短甚至更短。

在图 1 中保留 1、2、3、4 区不变，把 5 至 11 区更换为 MCT 的正面结构或晶闸管的正面结构，就得到通态压降小同时开关时间也短的低功耗 MCT 和低功耗晶闸管。从图 1 中可看出该器件制造方法是首先用扩散法制成有单面扩散层的非均匀掺杂的 N 型衬底（A 至 E），再在衬底低掺杂表面进行带有长时间高温过程的正面结构（5 至 11）的制造，然后将衬底从背面减薄去掉多余的扩散层（A 至 B）留下必需的扩散层（B 至 D），最后用离子注入法制造背 p^+ 发射区（2）。图 1 中的侧面曲线图表示 n 型基区杂质浓度分布。

图 2 所示的 IGBT 制造方法中，(a) 图表示原始 N 型单晶片，厚度大于后面将进行的双面扩散的深度的 2 倍与图 1 中 4 区的厚度之和，电阻率由所需耐压决定；(b) 图表示经过双面 N 型扩散之后的情况，其中 12 为扩散层，13 为原始 N 型单晶层；扩散深度的决定是要求 12 区与 13 区厚度之和大于约 $300 \mu\text{m}$ ，以保证以后多次高温长时间加工过程中不碎片；(c) 图表示经研磨、抛光去除单面扩散层后的非均匀杂质分布的衬底片，其中 12 为扩散层，13 为单晶层；(d) 图表示在衬底片的正面（即原始单晶层的表面）经许多复杂高温过程制成 14 区所示的 IGBT 正面结构后的情况，12、13 区含义同(c) 图，14 区详细构造如图 1 中 5—11 区所示；(e) 图表示从衬底片的背面（正面层的面）用研磨、腐蚀等常用方法把晶片减薄后的情况，留下的扩散层的厚度略厚于前述的残留扩散层 3，15 与 3 的厚度之差为背离子注入区的厚度；(f) 图为用离子注入法在残留扩散层表面形成 p^+ 背发射区 2 后的情况，注入后可以不退火。2 区厚度小于 $1\mu\text{m}$ ，注入剂量按所需通态压降和开关时间调整，一般在 1×10^{11} 至 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ；(g) 图为用常用方法（蒸发、溅射等）制造背面阳极金属化系统层 1 并经过合金处理的管芯。合金温度 600°C 以下。至此本发明的 IGBT 管芯制造完成。

制造本发明的 MCT 或晶闸管时，只要把图 2 中 14 区的结构制造成所要的 MCT 和晶闸管的正面结构，保持和其他部分结构不变和制造过程不变即可。

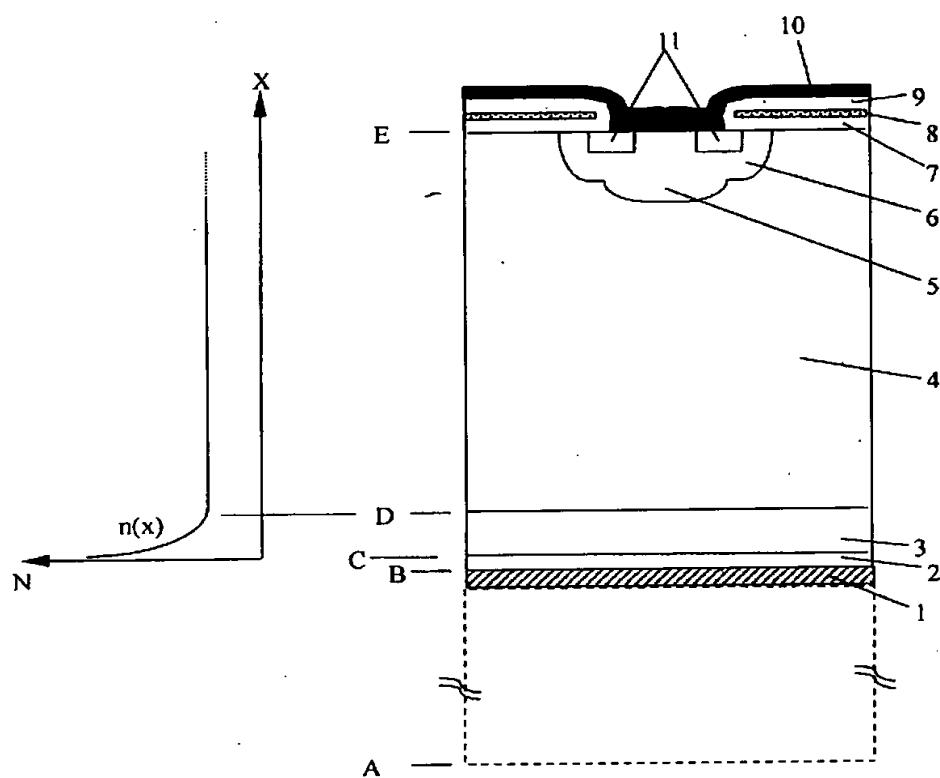


图 1

00-12-21

12

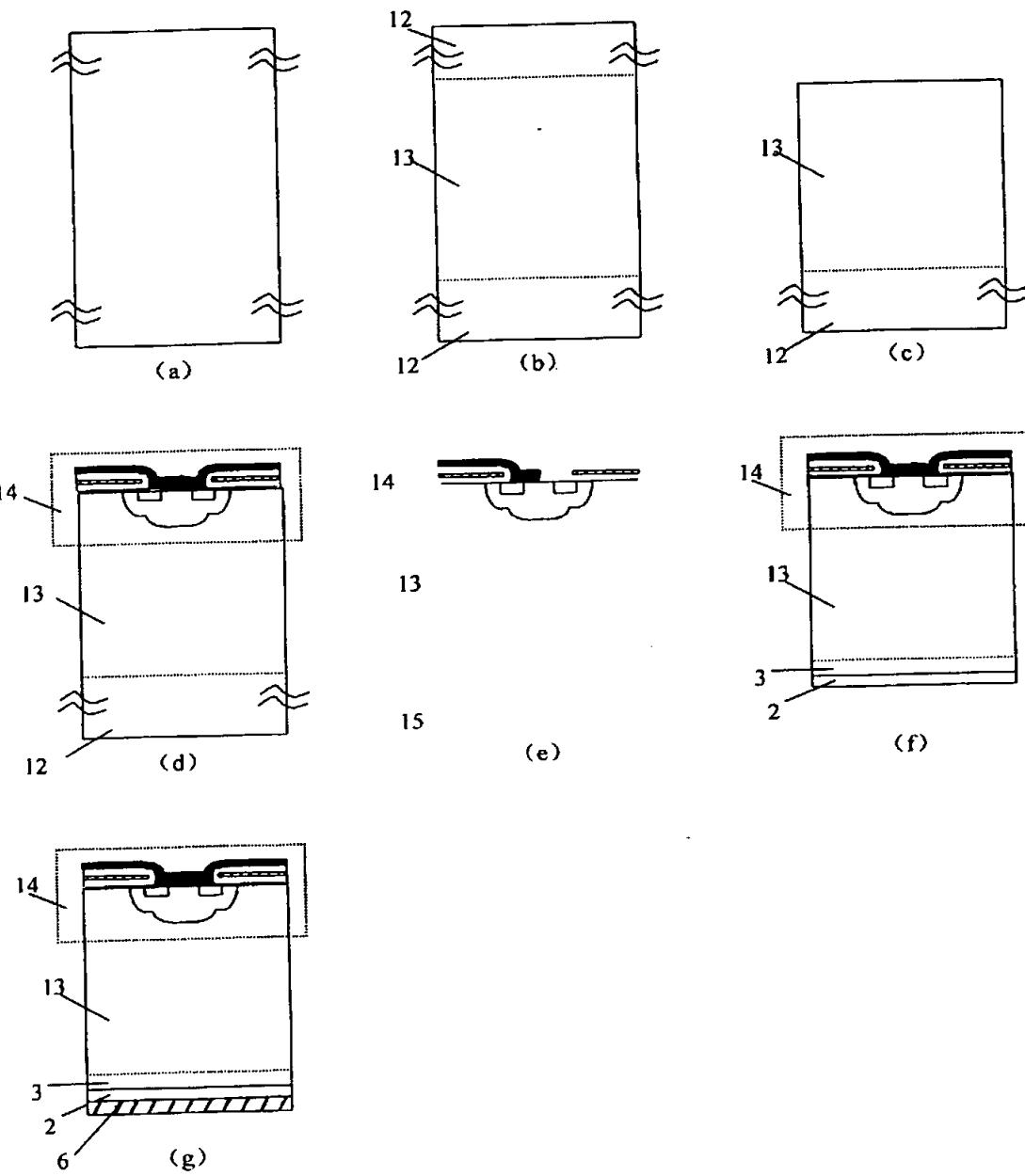


图 2